

# Balancing coupled rotors with numerical eccentricity measurement - using balance wt. calculation and positioning from prod. of eccentricity and empirical sum of rotating masses

**Patent number:** DE4120197  
**Publication date:** 1992-12-24  
**Inventor:** TURNWALD ADOLF DIPL ING (DE)  
**Applicant:** AUDI NSU AUTO UNION AG (DE)  
**Classification:**  
- international: **G01M1/16; G01M1/30; G01M1/00;** (IPC1-7): G01M1/38  
- european: G01M1/16; G01M1/30  
**Application number:** DE19914120197 19910619  
**Priority number(s):** DE19914120197 19910619

Report a data error here

## Abstract of DE4120197

The output shaft (14) of a variable-speed gearbox (12) and a cardan shaft (18) are coupled together by screws (24) through a flange (22) and a joint (20) on the respective rotating parts. The cardan shaft (18) is separately balanced with a counterweight (26) and residual unbalance of e.g. 15 mmg marked (28) at a diametrically opposed point. The eccentricity (e1) and/or out-of-plane error (e2) at the flange (22) are measured and marked (30). The balance wt. (A) and its effective radius (r) are calculated.  
ADVANTAGE - For gas turbine or vehicle engine. Negligible overall unbalance is achieved at low cost without balancing entire unit.

$$A = \frac{\Sigma M' e}{r}$$

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 41 20 197 A 1**

⑤ Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**G 01 M 1/38**

⑲ Aktenzeichen: P 41 20 197.3  
⑳ Anmeldetag: 19. 6. 91  
㉑ Offenlegungstag: 24. 12. 92

DE 41 20 197 A 1

⑦1 Anmelder:  
Audi AG, 8070 Ingolstadt, DE

⑦2 Erfinder:  
Turnwald, Adolf, Dipl.-Ing., 8070 Ingolstadt, DE

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE 26 15 716 A1  
DE 25 07 695 A1

KRÄMER, L.;

OHMS, K.-P.: Einfluß der Kraftfahrzeug- räder auf  
das Fahrverhalten. In: Werkstatt und Betrieb 103,  
1970, 3, S.183-188;

HIMMLER;

G.: Auswuchten von Getrieben im Fahrzeug-bau. In:  
Werkstatt und Betrieb 104, 1971, 6, S.377-381;

HACK, Heinrich;

u.a.: Auswuchttechnische Fragen im Automobilbau.

In: Sonderdruck aus der AUTOMOBILINDUSTRIE,  
Vogel-Verlag Würzburg, 11.Jg., Nr.2, April 1966,  
Nr.3/25.Aug.1966, S.18-20;  
ATZ-Automobiltechnische Zeitschrift, 73.Jg.,  
Nr.1,Jan.1971, S.1-8;

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren zum Auswuchten zumindest zweier miteinander verbundener Rotoren

⑤7 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Auswuchten  
zumindest zweier miteinander verbundener Rotoren, von  
denen der erste Rotor drehbar gelagert ist und den zweiten  
Rotor fliegend zumindest teilweise trägt, insbesondere an  
einer Antriebseinheit für Kraftfahrzeuge mit einem Getriebe  
mit einer Abtriebswelle und einer daran angeflanschten  
Gelenkwelle, bei dem zur Erzielung einer möglichst geringen  
Gesamtunwucht unter Vermeidung einer Gesamtauswuch-  
tung wie folgt verfahren wird:

a) numerisches Erfassen der Rundlaufabweichung  $e$  des  
ersten gelagerten Rotors und Markieren deren Position im  
Verbindungsbereich;

b) Erfassen der Restunwucht  $U_v$  des zweiten Rotors (18) und  
deren Markierung im Verbindungsbereich;

c) Montage der beiden Rotoren Markierung an Markierung  
derart, daß die Restunwucht  $U_v$  des zweiten Rotors der  
Rundlaufabweichung  $e$  gegenüberliegt; und

d) Anbringen eines gegebenenfalls erforderlichen zusätzli-  
chen Ausgleichsgewichtes nach Maßgabe der empirisch  
ermittelten und/oder berechneten relevanten Gesamtror-  
masse  $\Sigma M'$ , wobei sich der Wert  $A$  des Ausgleichsgewichtes  
ergibt aus

$$A = \frac{\Sigma M' \cdot e}{r}$$

wobei  $r$  der wirksame Radius des Ausgleichsgewichtes von  
der Rotordrehachse ist.

DE 41 20 197 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Auswuchten zumindest zweier miteinander verbundener Rotoren, gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Ein derartiges Verfahren beschreibt z. B. die DE 25 07 695 C2 anhand eines Gasturbinentriebwerkes. Im wesentlichen bildet dabei die Verdichtereinheit den ersten drehbar gelagerten Rotor, der in fliegender Lagerung eine Turbine als zweiten Rotor trägt. Um im Feld ein Austauschen der Turbine ohne nachträgliches Auswuchten des gesamten Triebwerkes zu ermöglichen, wird wie folgt verfahren: Es wird zunächst der erste und zweite Rotor bzw. die Verdichtereinheit und die Turbine separat gewuchtet, dann zusammengeschraubt und dann als Gesamteinheit nochmals gewuchtet. Die aufgrund der unvermeidlichen Rundlaufabweichung  $e$  (Axialschlag, Radialschlag, etc.) im Verbindungsbereich noch auftretende Gesamtunwucht wird durch im Verbindungsbereich angeordnete Ausgleichsgewichte (Unterlegscheiben) ausgeglichen. Dabei wird davon ausgegangen, daß — sofern bei einem Turbinentausch im Feld die Lage der Ausgleichsgewichte unverändert bleibt — eine ebenfalls für sich gewuchtete Ersatzturbine keine Gesamtunwucht erzeugt.

Dieses Verfahren kann vielleicht bei Gasturbinentriebwerken angezeigt sein, die mit sehr hoher Genauigkeit gefertigt und ausgewuchtet werden. Es ist jedoch beispielsweise nicht geeignet für Antriebseinheiten in Kraftfahrzeugen, deren Fertigung in hohen Stückzahlen erfolgt und die deshalb mehr toleranzbehaftet sind.

So ist es beim Zusammenbau von Getriebe- und Kardanwelle als Teil der Antriebseinheit bei der Anmeldeeinrichtung üblich, die Rundlaufabweichung der Getriebe-Abtriebswelle numerisch zu erfassen und zu markieren, ferner die Restunwucht der Kardanwelle zu markieren und bei der Montage die Markierungen so zusammenzubauen, daß die Restunwucht der Kardanwelle als zweiter Rotor der Rundlaufabweichung der Getriebe-Abtriebswelle als gelagerter Rotor gegenüberliegt. Dabei sind für die Restunwucht zwei Wuchtklassen vorgesehen, die zwei Intervallen von Rundlaufabweichungen zugeordnet werden.

Dies führt jedoch zu einem vermehrten Teile- und Steuerungsaufwand bei der Fertigung und in der Ersatzteilhaltung und zwingt darüber hinaus zur Einhaltung relativ enger Toleranzen.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein verbessertes Verfahren der gattungsgemäßen Art aufzuzeigen, mit dem ohne Auswuchten der Gesamteinheit und bei verringertem Aufwand nur geringe vernachlässigbare Gesamtunwuchtzustände auftreten.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mit den kennzeichnenden Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind den weiteren Ansprüchen entnehmbar.

Erfindungsgemäß wurde erkannt, daß neben dem "matchen" der Rotoren (Rundlaufabweichung: Restunwucht) auch die relevante Gesamtrotormasse  $\Sigma M'$  eine zu berücksichtigende Größe ist, die nun zur Verbesserung der Gesamtunwucht herangezogen wird. Diese Gesamtrotormasse bzw. auf die Koppelebene reduzierte Masse ist eine Konstante, die entweder empirisch ermittelbar oder aus den spezifischen Systemdaten (z. B. bei einer Antriebseinheit in einem Kraftfahrzeug aus den drehenden Massen, deren Lagerung und Drehsteifigkeit, dem Aufhängungssystem etc.) berechenbar ist.

Beispielsweise kann bei einer Reihe von Rotoreinheiten

ten bei gegebener Rundlaufabweichung  $e$  und bekannter Restunwucht des zweiten Rotors durch Gesamtauswuchten das Ausgleichsgewicht  $A$  empirisch ermittelt werden, woraus sich dann die Gesamtrotormasse  $\Sigma M'$  errechnen läßt.

Ist die Gesamtrotormasse  $\Sigma M'$  als Konstante ermittelt, so läßt sich nach dem erfindungsgemäßen Verfahren ohne zusätzliche Gesamtauswuchtung arbeiten, wobei — wie praktische Versuche gezeigt haben — nur noch geringe vernachlässigbare Gesamtunwuchten auftreten.

Das erfindungsgemäße Verfahren sieht in der einfachsten Ausführung nur die Rundlaufabweichung  $e$  zur Ermittlung des gegebenenfalls noch erforderlichen Ausgleichsgewichtes  $A$  heran, läßt hingegen den Wert der Restunwucht des zweiten Rotors unberücksichtigt. Dies kann dann angezeigt sein, wenn diese Restunwucht in einem engen Toleranzband gehalten werden kann.

In Weiterbildung der Erfindung wird jedoch vorgeschlagen, den Wert der Restunwucht gemäß den Merkmalen der Ansprüche 2 oder 4 mit einzubeziehen bzw. einzugrenzen. Dadurch können unter Berücksichtigung wirtschaftlich und fertigungstechnisch vernünftiger Toleranzgrenzen Auswuchtergebnisse erzielt werden, die in vernachlässigbaren Grenzen liegen. Dabei ergibt eine numerische Markierung der Restunwucht auf den zweiten Rotor die geringste Lagerhaltung und ermöglicht zufriedenstellend genaue Ergebnisse.

Nachdem wie vorstehend bereits ausgeführt die Gesamtrotormasse  $\Sigma M'$  eine fahrzeugspezifische Konstante ist, kann diese — insbesondere für die Anwendung in der Reparaturpraxis — in eine Tabelle oder Graphik eingearbeitet sein, aus der nach Ermittlung der Rundlaufabweichung  $e$  und gegebenenfalls des Wertes der Restunwucht ohne weiteres der Wert  $A$  des Ausgleichsgewichtes entnehmbar ist.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist im folgenden mit weiteren Einzelheiten näher erläutert. Die schematische Zeichnung zeigt in

Fig. 1 einen Abschnitt einer Antriebseinheit eines Kraftfahrzeuges mit einer Getriebe-Abtriebswelle als erstem Rotor und einer daran angeflanschten Gelenkwelle als zweiten Rotor; und

Fig. 2 eine Graphik zum Ablesen des Ausgleichsgewichtes  $A$  für die Montage der Antriebseinheit nach Fig. 1.

In der Fig. 1 ist mit 10 eine teilweise dargestellte Antriebseinheit bezeichnet, deren Geschwindigkeits-Wechselgetriebe 12 mit einer Abtriebswelle 14 als ersten, in dem Getriebegehäuse 16 drehbar gelagerten Rotor und eine daran angeflanschte Gelenkwelle bzw. Kardanwelle 18 als zweiten Rotor aufweist. Dabei ist das nicht näher dargestellte Gelenk 20 der Kardanwelle 18 mit einem Flansch 22 auf der Abtriebswelle 14 über sechs umfangsmäßig gleichmäßig verteilte Schrauben (strichpunktierte Linien 24) verschraubt.

Zur Erzielung einer möglichst geringen Gesamtunwucht der Rotoren 14, 18 bzw. der Antriebseinheit 10 wurde wie folgt verfahren:

Es wurde die Kardanwelle 18 separat gewuchtet und beispielsweise ein Auswuchtgewicht 26 angebracht. Die Restunwucht  $U_v$  von z. B. 15 mmg wurde numerisch neben einem Pfeil 28 als erste Markierung aufgetragen, wobei die Markierung 28 um  $180^\circ$  versetzt zur tatsächlichen Restunwucht liegt.

Ferner wurde am Flansch 22 der Abtriebswelle 14 die Rundlaufabweichung  $e$  gemessen und der Wert 0,04 numerisch als auch deren Position mit dem Pfeil 30 am

Flansch 22 angezeigt. Im Ausführungsbeispiel wird davon ausgegangen, daß die Abtriebswelle als Drehteil keine nennenswerte Unwucht aufweist, andernfalls müßte diese ebenfalls ausgewuchtet werden.

Die Rundlaufabweichung  $e$  kann — wie eingezeichnet — je nach den fertigungstechnischen Gegebenheiten eine Exzentrizität  $e_1$  (Mittelachsenversatz) des Flansches 22 und/oder ein Taumelschlag  $e_2$  (Schrägstellung der Flanschebene zu einer Senkrechten durch die Mittelachse der Abtriebswelle 14) des Flansches 22 sein.

Bei der Montage der Kardanwelle 18 werden nun die beiden Markierungen 28, 30 so nahe als möglich in Überdeckung gebracht (abhängig von der durch die Schraubenlöcher vorgegebenen Teilung der Anschlußverbindung). Mit dem Anschrauben der Kardanwelle 18 wird dann gegebenenfalls zusätzlich ein Ausgleichsgewicht A (z. B. in Form einer dickeren Unterlegscheibe) im Abstand  $r$  mit angeschraubt.

Vorab wurde die relevante, in der Verbindungsebene zwischen Flansch 22 und Gelenk 24 wirksame Gesamtrotormasse  $\Sigma M'$  wie vorstehend erläutert empirisch ermittelt. Deren Wert ist hier nicht angegeben, da er fahrzeugspezifisch und deshalb nicht allgemein verwendbar ist.

Mit den Konstanten  $\Sigma M'$  und  $r$  und den zugelassenen Variablen  $e$  und  $U_v$  wurden nach Gleichung

$$A = \frac{\Sigma M'}{r} e - \frac{U_v}{r}$$

die in Fig. 2 gezeigte Graphik (Diagramm) erstellt, bei der in der Ordinate links der Wert A des Ausgleichsgewichtes ablesbar ist, während in der Abzisse die Rundlaufabweichung  $e$  des ersten Rotors bzw. der Abtriebswelle 14 angeführt ist.

In die Graphik sind nun beliebig viele Linien, z. B. 32, 34, eingetragen, die entweder zwei Wuchtklassen (Ausführungsbeispiel) oder beliebig vielen Restunwuchten  $U_v$  entsprechen und im Schnittpunkt mit der jeweiligen Rundlaufabweichung  $e$  einen Wert A angeben; das entsprechende Ausgleichsgewicht A wird dann bei der Montage der Kardanwelle 18 mit angeschraubt. So würde rein beispielhaft eine Rundlaufabweichung von  $e$  0,04 und eine Restunwucht  $U_v$  von 40 mmg (Linie 34) einen Wert A von 2 g ergeben (vgl. Fig. 2).

Die Lage des Ausgleichsgewichtes A ist bei positivem Wert  $180^\circ$  versetzt zur Rundlaufabweichung (Markierung 30) und bei negativem Wert an der Markierung 30 zu wählen.

Sofern Linien 32, 34 für Wuchtklassen (im Ausführungsbeispiel sind es zwei Wuchtklassen) vorhanden sind, können diese an der Kardanwelle 18 farbig markiert sein, z. B. könnte der Pfeil 28 grün oder gelb entsprechend der jeweiligen Wuchtklasse ausgeführt sein, während dann die numerische Angabe an der Kardanwelle bzw. am Gelenk 20 entfallen könnte.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Auswuchten zumindest zweier miteinander verbundener Rotoren, von denen der erste Rotor drehbar gelagert ist und den zweiten Rotor fliegend zumindest teilweise trägt, insbesondere an einer Antriebseinheit für Kraftfahrzeuge mit einem Getriebe mit einer Abtriebswelle und einer daran angeflanschten Gelenkwelle, gekennzeichnet durch die folgenden Verfahrensschritte:

a) Numerisches Erfassen der Rundlaufabweichung  $e$  des ersten gelagerten Rotors (14) und Markieren deren Position im Verbindungsbereich;

b) Erfassen der Restunwucht  $U_v$  des zweiten Rotors (18) und deren Markierung im Verbindungsbereich;

c) Montage der beiden Rotoren (14, 18) Markierung an Markierung derart, daß die Restunwucht  $U_v$  des zweiten Rotors (18) der Rundlaufabweichung  $e$  des ersten Rotors gegenüberliegt; und

d) Anbringen eines gegebenenfalls erforderlichen zusätzlichen Ausgleichsgewichtes A nach Maßgabe einer empirisch ermittelten und/oder berechneten relevanten Gesamtrotormasse  $\Sigma M'$ , wobei sich der Wert des Ausgleichsgewichtes A ergibt aus

$$A = \frac{\Sigma M'}{r} e$$

wobei  $r$  der wirksame Radius des Ausgleichsgewichtes A von der Rotordrehachse ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Restunwucht  $U_v$  des zweiten Rotors (18) ebenfalls numerisch erfaßt und nach der erweiterten Gleichung

$$A = \frac{\Sigma M'}{r} e - \frac{U_v}{r}$$

berücksichtigt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Wert A des Ausgleichsgewichtes A anhand einer Tabelle oder Graphik ermittelt wird, auf der nach Maßgabe der Rundlaufabweichung  $e$  und gegebenenfalls der Restunwucht  $U_v$  der Wert A ablesbar ist.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Restunwucht  $U_v$  des zweiten Rotors (18) nach Wuchtklassen klassifiziert ist und daß die Tabelle oder Graphik entsprechende Werte A je Wuchtklasse (Linien 32, 34) enthält.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -



FIG. 2

